

Dr.-Ing. Dennis Göge

# Der Querschnittsbereich Sicherheitsforschung des DLR – Einsatzrelevante Beispiele aus den wehrtechnischen Programmlinien

## Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Darüber hinaus ist das DLR im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem sind im DLR zwei Projektträger zur Forschungsförderung angesiedelt. Das Portfolio reicht dabei von der Grundlagenforschung über angewandte Forschung bis hin zur Entwicklung von Produkten für morgen.

## Sicherheitsforschung im DLR

In der Sicherheitsforschung des DLR werden die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten mit verteidigungs- und sicherheitsrelevantem Bezug in Abstimmung mit den Partnern in Staat, Wissenschaft und Industrie geplant und gesteuert. Der Querschnittsbereich Sicherheitsforschung verknüpft die Kernkompetenzen aus den etablierten DLR-Programmen der Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und des Verkehrs. Mehr als 20 DLR-Institute und -Einrichtungen liefern im Rahmen ihrer sicherheitsrelevanten Arbeiten Beiträge zur Entwicklung, Erprobung und Bewertung von Technologien, Systemen und Konzepten sowie zur Analyse- und Bewertungsfähigkeit hinsichtlich sicherheitsrelevanter Anwendungen. Dabei verfügt das DLR über eine umfassende „End-to-End“ Systemkompetenz für welt-raum- und luftgestützte Plattformen sowie über Kompetenzen in wesentlichen Teil-Systembereichen wie zum

Beispiel Sensorik, Erdbeobachtung oder Kommunikation. Mit den verfügbaren Satelliten und den für den Betrieb entsprechend benötigten Einrichtungen und Datenempfangsinfrastrukturen sowie zahlreichen Forschungsflugzeugen, den verschiedenen Aufnahme- und Auswerteverfahren und speziellen Simulationsumgebungen ist das DLR in der Lage, zum Schutz und zur Überwachung kritischer Infrastrukturen, zum Krisen- und Katastrophenmanagement, zur Grenzsicherheit und zum Schutz vor Terrorismus und organisiertem Verbrechen beizutragen. Erfahrungen aus dem Bereich „Dual-Use“ runden darüber hinaus das Profil der Kernkompetenzen des DLR ab.

## Wehrtechnische Programmlinien des DLR

Im Rahmen der wehrtechnischen Forschung des DLR werden aktuell mehr als 35 Technologievorhaben und Projekte durchgeführt. Der Fokus der Arbeiten liegt zum einen in der Bereitstellung von Verfahren und Anlagen zur Demonstration, Erprobung und Bewertung wehrtechnisch relevanter Technologien. Zum anderen orientieren sich die Beiträge des DLR an den Fähigkeitsdomänen Führung, Aufklärung, Wirkung, Unterstützung und Schutz der Bundeswehr. Die Vorhaben und Projekte werden in drei Programmlinien koordiniert:

### Programmlinie

#### Luftgestützte Plattformen (LgPf)

Militärische Fluggeräte tragen entscheidend zu den Fähigkeiten Mobilität und Unterstützung sowie Durchsetzungs- und Durchhaltefähigkeit der Bundeswehr bei. Zudem werden von unbemannten Luftfahrzeugen (UAV) essentielle Aufgaben in den Bereichen Überlebensfähigkeit und Schutz

sowie Nachrichtengewinnung und Aufklärung wahrgenommen. In der Programmlinie Luftgestützte Plattformen entwickeln und erforschen sieben DLR-Institute neue Konzepte und innovative Technologien für militärisch genutzte Luftfahrzeuge. Mit neuen Rotortechnologien lässt sich die Leistungsfähigkeit von Hubschraubern steigern und deren Lärmemission reduzieren. Mittels Simulation z. B. von Lastabsetzvorgängen und der Luft-zu-Luft-Betankung soll die Sicherheit von Transportflugzeugen bei kritischen Missionen erhöht werden. Durch die Optimierung der Flugsteuerung und -dynamik von Kampffjets werden deren Wirksamkeit sowie Durchsetzungs- und Überlebensfähigkeit im Einsatz verbessert. Mit dem Entwurf hochagiler UAVs und der Bewertung von Technologien, die deren Autonomiegrad erhöhen, nimmt das DLR auch auf diesem Gebiet seine Beratungsfunktion für das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) wahr.

### Programmlinie Satellitentechnik und Sensorik (StS)

Für ein unabhängiges Lagebild sind in den Bereichen Aufklärung, Sicherheit und Unterstützung in humanitären Einsätzen leistungsstarke Fernerkundungssysteme für Regierungen und andere Entscheidungsträger unabdingbar. Zum zuverlässigen, nicht intrusiven Gewinn von Informationen mit hoher Qualität kommen Satellitenplattformen wie z. B. SAR-Lupe oder TerraSAR-X zum Einsatz.

Mit umfassender Kompetenz, unter anderem hinsichtlich Radar- und elektro-optischer Systeme, werden in der Programmlinie Satellitentechnik und Sensorik zukunftsweisende Technologien zur unabhängigen und souveränen Informationsgewinnung erforscht.



Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR beschäftigen sich u. a. mit der Transformation von Nutzerforderungen in realisierbare technische Spezifikationen, der Entwicklung von neuen innovativen Simulationswerkzeugen zur Optimierung von komplexen Satellitenmissionen und Multi-Sensor-Systemen, der Vermessung von Ziel-Signaturen sowie der Bedrohungsanalyse von Satelliten und dem Entwurf von Schutzmaßnahmen.

#### Programmlinie Wirkung, Schutz und Werkstoffe (WSW)

In der Programmlinie Wirkung, Schutz und Werkstoffe entwickeln und erforschen acht DLR-Institute innovative Lösungen für den Erhalt und Ausbau der Fähigkeiten der Bundeswehr, unter anderem in den Bereichen Flugkörpersysteme, Flugzeugstrukturen, Lasertechnik oder Telemedizin.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR konzentrieren sich beispielsweise auf die Verbesserung der aerodynamischen Leistungseigenschaften und den Einsatz von Hochtemperaturkeramiken im Aufgabenspektrum moderner Flugkörper. Neuartige Faserverbund-Leichtbaustrukturen sowie hochgetarnte Flugzeugbauteile erhöhen die Durchsetzungs- und Überlebensfähigkeit von künftigen unbemannten Luftfahrzeugen. Energie absorbierende, splittergeschützte und schadenstolerante Strukturen verbessern den Schutz von Hubschrauberzellen. Die Lasertechnik ist Grundlage von Arbeiten zur Laserwaffe, zur optischen Detektion von chemischen, biologischen und explosiven Gefahrstoffen sowie zur optischen Erfassung und Verfolgung von Weltraumschrott. Telemedizinische Methoden und Forschung zu mobilen Operationsmodulen ergänzen die sanitätsdienstliche Versorgung.

#### Einsatzrelevante Beispiele aus den wehrtechnischen Programmlinien

Nachfolgend wird beispielhaft jeweils eine Aktivität pro Programmlinie dargestellt, um aktuelle Entwicklungen im Hinblick auf wehrtechnisch relevante Technologien aufzuzeigen. Neben der Thematik Einsatzrelevanz

wird auch auf das zukünftige Potenzial der jeweiligen Technologie verwiesen:

#### Pilotenverstärkung in der Flugerprobung

Der Nachweis spezifischer Flugeigenschaften ist essentieller Bestandteil bei der Erprobung neuer Luftfahrzeuge und deren Modifikationen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Pilotenverstärkung, also die Aggressivität, mit der ein Pilot seinen Steuerknüppel bedient. Bei schlecht ausgelegter Flugdynamik eines Flugzeugs kann eine hohe Verstärkung zu einer Verschlechterung der Gesamtsystemdynamik führen, bis hin zum Abbruch der Mission bzw. des Manövers, oder schlimmstenfalls zu einem Kontrollverlust mit Verlust von Besatzung und Flugzeug. Gleichzeitig tritt eine hohe Pilotenverstärkung vor allem unter Stress, v. a. im Einsatz oder bei kurzfristigen Ausweichmanövern, sowie bei anspruchsvollen militärischen Flugmanövern wie Geländefolgeflug und Luftkampf auf. In diesen Fällen ist die hohe Pilotenverstärkung integraler Bestandteil der Flugaufgabe. Als Konsequenz fordern sowohl zivile als auch militärische Zulassungsvorschriften, dass auch bei hoher Pilotenverstärkung ein Flugzeug stabil und vorhersehbar reagieren muss. Weiterhin ist eine gute Kontrollierbarkeit und Vorhersehbarkeit der Flugdynamik bei militärischen Einsätzen zumeist missionsrelevant und wird somit als Forderung in den Verträgen

diesem Zusammenhang gibt es drei große Herausforderungen:

- ▶ Derzeit existiert kein allgemein akzeptiertes Maß für die Pilotenverstärkung.
- ▶ Jeder Pilot besitzt eine individuelle Disposition, mit hoher, mittlerer oder niedriger Pilotenverstärkung zu fliegen (natürliche Pilotenverstärkung).
- ▶ Die einsatzrelevante maximale Pilotenverstärkung wird in der Erprobung nicht erreicht.

An der DLR-Außenstelle Flugerprobung Manching wurden diese drei Aspekte näher untersucht. Dabei wurde in Zusammenarbeit mit der Wehrtechnischen Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD 61), dem Jagdgeschwader 73 (JG 73) und Airbus Defence & Space auf Simulatortests mit zwölf experimentellen Testpiloten und zwölf Geschwaderpiloten für Eurofighter/Typhoon sowie in Zusammenarbeit mit der United States Air Force (USAF) Testpilotenschule auf Flugtests mit einem modifizierten Flugzeugmuster F-16 („VISTA“) zurückgegriffen. Potentielle Maße für die Pilotenverstärkung wurden ermittelt und basierend auf einem eigens dafür entwickelten Ansatz validiert. Die Auswahl der Maße berücksichtigte dabei typische Einschränkungen in der Flugerprobung und kann im Rahmen üblicher Testpunkte ohne zusätzliche Kosten, Zeitaufwand und Instrumentierung ermittelt werden. Abbildung 1 zeigt das



Abbildung 1: Displays der Simulator- und Flugtests

für militärische Flugzeuge abgebildet. Der Nachweis wird üblicherweise im Rahmen von speziellen Flugerprobungen zur Bewertung der Flugeigenschaften erbracht, welche auf die Erzeugung einer möglichst hohen Pilotenverstärkung ausgerichtet sind. In

Display, das bei den Simulatortests verwendet wurde sowie einen Blick durch das Head-Up Display der F-16 für die Flugtests.

Darüber hinaus wurden mögliche Ursachen für Unterschiede in der natürlichen Pilotenverstärkung untersucht.



Basierend auf der kortikalen Erregungstheorie wurde ein Zusammenhang zwischen natürlicher Pilotenverstärkung und der Persönlichkeitseigenschaft der Extraversion vermutet; dieser wurde von Simulator- und Persönlichkeitstests gestützt, die nun durch weitere Studien bestätigt werden müssen. Schließlich wurde im Rahmen der Untersuchungen auch die „Workload Buildup Flight Test Technique“ als eine mögliche Methode zur weiteren Erhöhung der Pilotenverstärkung in der Flugerprobung untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen bestätigen, dass diese Technik zu einer schrittweisen Erhöhung der Pilotenverstärkung führt. Gleichzeitig ist sie dabei selten höher als bei einer Erhöhung der Pilotenverstärkung auf Kommando. Einen Vorteil bietet die Technik dennoch, da sie den Piloten zu intuitiven Steuereingaben zwingt, bei denen sein natürliches Toleranzband gegenüber Abweichungen vom Optimal-Zustand stark verringert wird – insofern wurden auch hier wertvolle einsatzrelevante Erkenntnisse gesammelt.

#### Detektion von vergrabenen Bedrohungen

Die sichere und effektive Räumung von im Erdboden verborgenen Wirkmitteln, wie beispielsweise Minen, Altlasten von Munition oder Sprengkörpern, ist ein komplexes Problem, welches das Einsatzpersonal vor größte Herausforderungen stellt. Im militärischen Fall liegen häufig etwas andere Randbedingungen und Zielsetzungen bezüglich der Räumungsausbeute (z. B. Zeitbedarf, Räumflächen, Methodik, Dekontaminationsgrad) als bei humanitären Einsätzen vor, dennoch sind wesentliche Grundelemente für beide Missionen identisch.

Das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme des DLR in Oberpfaffenhofen ist derzeit am EU-FP7-Projekt TIRAMISU (Toolbox Implementation for Removal of Anti-personnel Mines, Submunitions and Uxo) beteiligt (<http://fp7-tiramisu.eu>). Ziel von TIRAMISU ist die Bereitstellung einer Werkzeugpalette für Einsatzkräfte, welche die vielfältigen Kern-

punkte der humanitären Räumung von Wirkmitteln adressiert. Die Palette umfasst insgesamt zehn Module, wovon eines die Detektion von Objekten aus nahen Abständen ist. Hauptwerkzeuge dabei sind Metall-detektoren, neuartige Bodenradare sowie chemische Sensoren.

Zur Detektion von unsichtbaren, im Erdboden vergrabenen Bedrohungen werden schon seit mehr als einhundert Jahren elektromagnetische Sensoren eingesetzt. Neben anderen Randbedingungen ist insbesondere die Eindringtiefe in den Erdboden von

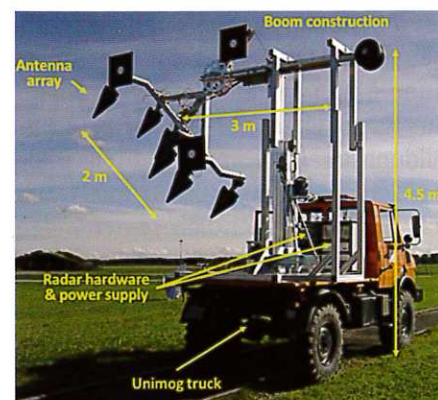


Abbildung 2: Darstellung des beim DLR entwickelten Radars mit synthetischer Apertur (SAR) zur Minendetektion

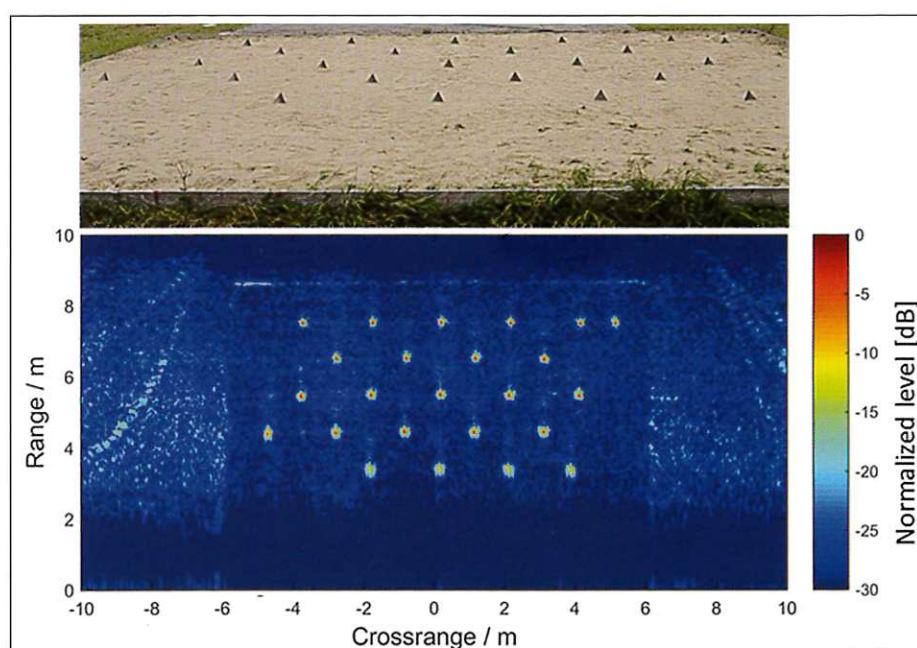


Abbildung 3: Fotografie eines Szenarios mit kleinen Dreiplattenreflektoren auf der Oberfläche einer eigens installierten Sandgrube. Darunter ist das korrespondierende Radarbild aus einer Überlagerung mehrerer Kombinationen Senden/Empfängen dargestellt

größter Bedeutung, die im Mikrowellenbereich stark von der Bodenfeuchte und der gewählten Beobachtungsfrequenz und nur untergeordnet von der Bodenzusammensetzung abhängt. Das DLR hat im Projekt TIRAMISU ein Radar mit synthetischer Apertur (SAR), welches eine großflächige Abbildung eines Szenarios realisieren kann, entwickelt und in ersten Tests erfolgreich eingesetzt. Das Radar arbeitet aufgrund des SAR-Prinzips im Seitensichtbetrieb, d. h. während sich das Fahrzeug auf sicherem Terrain bewegt, können Radarechos vom kontaminierten Boden aufgenommen werden, siehe Abbildung 2. Alle während der Fahrt aufgenommenen Radar-

echos werden kohärent, d. h. nach Betrag und Phase, mit Hilfe spezieller Signalverarbeitungsalgorithmen zu hochgenauen Intensitätskarten der Reflektivität verarbeitet, die dielektrische Unterschiede in der Szene sichtbar machen. Solche Unterschiede entstehen z. B. durch die Verschiedenheit der Objekt- und Bodenmaterialien. Die Verwendung mehrerer räumlich verteilter Senden- und Empfangsantennen erlaubt dabei eine deutlich verbesserte Abbildungsqualität bzw. Detektionsausbeute. Mit dem Verfahren ist es möglich, innerhalb einiger Minuten Areale von bis zu mehreren zehn Quadratmetern auf verdächtige Objekte hin zu untersuchen. Ein ers-



tes Abbildungsergebnis mit der aufgebauten Hardware zeigt die Abbildung 3, bei der ein Referenzszenario aus Radarreflektoren die korrekte Abbildungsqualität im gesamten Bildbereich demonstriert. Zukünftig soll das System hinsichtlich seiner vielen Freiheitsgrade in den Radarparametern, der Messgeometrie als auch der Datenverarbeitung an realen Objekten getestet und optimiert werden. In weiteren Feldversuchen wird die Einsatzleistungsfähigkeit im Hinblick auf mögliche Limitierungen untersucht.

#### Keramische Schutz-

#### systeme für Fahr- und Flugzeuge

Der ballistische Schutz von Personen in Fahr- und Flugzeugen ist gerade im Hinblick auf aktuelle und zukünftige Einsätze der Bundeswehr von großer Bedeutung. Die Kernanforderungen an ballistische Schutzsysteme bestehen aus dem grundlegend zuverlässigen Schutz, einer möglichst geringen Beeinträchtigung der Mobilität sowie der kostengünstigen Herstellung und einfachen Montage. Der Einsatz von keramischen Schutzstrukturen als Alternative zum herkömmlichen Panzerstahl ist unlängst Realität geworden. Mit neuartigen keramischen Hybridverbundsystemen werden komplex geformte Strukturen hergestellt, welche die Designvorgaben der zu schützenden Bauteile berücksichtigen und auch bei Mehrfachbeschuss wirksam sind.

In diesem Kontext werden am Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie des DLR in Stuttgart keramische Verbundstrukturen für ballistische

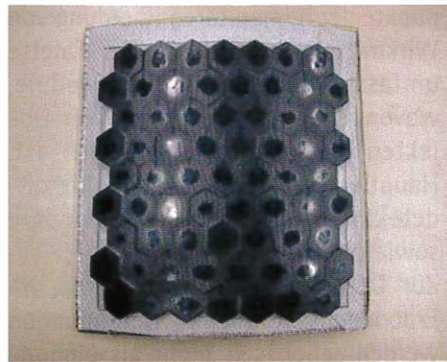
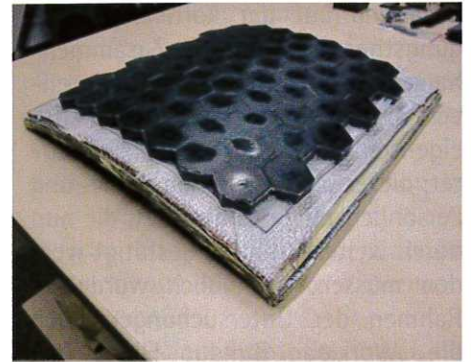


Abbildung 4: Gekrümmte Beschussprobe eines MICASIC®-Verbundschutzsystems mit keramischer Außenschicht und einer Backing-Struktur aus elastischem faserverstärktem Polymervverbund

Schutzsysteme entwickelt. Das vom DLR entwickelte MICASIC® (Metallinfiltriertes Carbon abgeleitetes SiC) ist eine Keramik, die auf biogenen Rohstoffen basiert und über das Verfahren der Flüssigsiliziuminfiltration LSI hergestellt wird. Durch eine konsequente Weiterentwicklung des LSI-Verfahrens, wie z. B. die Integration des Warmpress- und Extrusionsverfahrens als Formgebungsmöglichkeit, wird die kostengünstige Herstellung von hoch komplexen MICASIC®-Strukturbauteilen ermöglicht. Dadurch lassen sich keramische Schutzsysteme herstellen, die die geometrischen Anforderungen zu schützender Strukturen ideal berücksichtigt. So ist die Herstellung großflächiger 3D-Strukturen für z. B. Helikoptersitze mit erhöhter Flexibilität realisierbar, siehe Abbildung 4.

Derartige Strukturen wurden bereits in Kooperation mit dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WiWeB) entwickelt, hergestellt und ballistisch getestet.



Hierbei wurde zunächst die ballistische Eignung der MICASIC®-Keramik nachgewiesen und anschließend dessen Integration in Konzepte für Schutzsysteme durchgeführt. Durch die Verwendung dieser Schutzsysteme konnte eine Flächengewichtsverringerung um ca. 65 % bei gleichzeitiger Mobilitätssteigerung und gleichbleibender Schutzperformance realisiert werden.

Aktuelle Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit der weiterführenden komplexen Formgebung von MICASIC®-Strukturen und deren Integration in entsprechende Schutzsysteme. Ziel ist die Entwicklung von ballistischen Schutzsystemen mit hoher Schutzperformance gegen Mehrfachbeschuss für Fahr- und Flugzeuge im Kontext einer anwenderfreundlichen Modulbauweise. ■

#### Dr.-Ing. Dennis Göge

Programmkordinator Sicherheitsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)